

<u>ID 1714</u> - Εκλεκτική Αναγωγή Οξειδίων του Αζώτου, NO<sub>x</sub> (SCR) σε περοβσκιτικά υλικά παρουσία C<sub>x</sub>H<sub>v</sub>(O<sub>z</sub>), H<sub>2</sub> και CO: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Κ. Δρόσου<sup>1</sup>, Α. Γεωργιάδης<sup>2</sup>, Ν. Χαρισίου<sup>2</sup>, Μ. Γούλα<sup>2,\*</sup>, Ι. Γεντεκάκης<sup>1,3,\*</sup>

<sup>1</sup> Σχολή Χημικών Μηχανικών & Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάδα
<sup>2</sup> Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη, Ελλάδα
<sup>3</sup> Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας/Ινστιτούτο Γεωενέργειας (ΙΤΕ/ΙΓ), Χανιά Κρήτης, Ελλάδα

\*Corresponding authors: <u>yyentek@isc.tuc.gr</u> (Ι. Γεντεκάκης); <u>mgoula@uowm.gr</u> (Μ. Γούλα)

*VINTERGEO* 



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## (A) DeNO<sub>x</sub>— γενικές παρατηρήσεις [1]

- Η εκλεκτική καταλυτική αναγωγή (SCR) είναι η πιο διαδεδομένη διαδικασία για τον περιορισμό των εκπομπών NO<sub>x</sub> σε συνθήκες *lean burn* (περίσσεια O<sub>2</sub>).
- NH<sub>3</sub> και η ουρία είναι κυρίως η προτιμώμενη επιλογή ως αναγωγικό μέσον για τις εφαρμογές SCR των NO<sub>x</sub> σε στάσιμες μονάδες (πχ. βιομηχανίες παραγωγής ενέργειας και χημικών).
- Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ενδιαφέρον για άλλα αναγωγικά μέσα όπως το  $H_2$ , οι ελαφριοί υδρογονάνθρακες  $C_x H_v / C_x H_v O_z$  και το CO, τα οποία συχνά συνυπάρχουν με NO<sub>x</sub> στα καυσαέρια.
- Καταλυτικά συστήματα ευγενών μετάλλων, NM, (π.χ. Rh, Pt, Ir, Pd) σε φορείς μικτών οξειδίων γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- (CeO<sub>2</sub>, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, BaO, κ.λπ.) έχουν χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο των εκπομπών CO, HCs και NO<sub>x</sub>



Επιπλέον, οι <u>εγγενείς οξειδοαναγωγικές τους ιδιότητες</u> και <u>η κινητικότητα των ιόντων οξυγόνου</u> τα καθιστούν ευεργετικά υλικά σε πολλά συστήματα ετεροκαταλυτικής αντίδρασης, λόγω των ισχυρών αλληλεπιδράσεων μετάλλου-φορέα και των φαινομένων διάχυσης (**backspillover**) ιόντων οξυγόνου  $O^{2-}$  που συνοδεύουν τη χρήση τους. Οι εύκολα ρυθμιζόμενες ιδιότητες οζέος-βάσης των περοβσκιτών, τους καθιστούν ιδανικά υλικά για τη <u>ρύθμιση της καταλυτικής δραστικότητας ή/και της εκλεκτικότητας</u> <u>πολλών καταλυτικών αντιδράσεων</u>, μεταξύ αυτών και των αντιδράσεων **deNO**<sub>x</sub> [2-4, 5-10]. Η πρόσθετη ικανότητα μερικής υποκατάστασης των θέσεων Α και Β από άλλα κατιόντα (δηλαδή, A<sub>1-</sub> <sub>y</sub>**A**'<sub>y</sub>**B**<sub>1-x</sub>**B**'<sub>x</sub>**O**<sub>3±δ</sub>), μπορεί να παρέχει μια <u>ποικιλία ενεργών θέσεων κατάλυσης</u> που επηρεάζονται από την φύση των κατιόντων Α, Α', Β και Β'

Μια πρόσθετη δυνατότητα κατά τη χρήση των περοβσκιτών ως φορείς νανοσωματιδίων μετάλλων είναι η λεγόμενη «redox exsolution», που ανακαλύφθηκε την τελευταία δεκαετία [11], η βασική ιδέα της οποίας είναι η δυνατότητα μετακίνησης του μετάλλου μέσα ή έξω από το πλέγμα του περοβσκίτη



#### (Β) Περοβσκιτικά υλικά: Ιδιότητες & καταλυτική εφαρμογή τους [1]

Οι περοβσκίτες, (ABO<sub>3</sub> και A<sub>2</sub>BO<sub>4</sub>, **Σχήμα 1**) είναι μικτά οξείδια που διαθέτουν: <u>υψηλή θερμική</u> σταθερότητα, μοναδικές φυσικοχημικές ιδιότητες και ευελιζία στον συνδυασμό και την ενσωμάτωση διάφορων χημικών στοιχείων στο πλέγμα τους [2].

# (Γ) Εκλεκτική Αναγωγή NO<sub>x</sub> (SCR) σε Περοβσκιτά υλικά [1]

Σε γενικές γραμμές η αναγωγή του NO χρησιμοποιώντας CO ως αναγωγικό παράγοντα σε καταλύτες περοβσκίτη έχει μελετηθεί εκτενώς υπό συνθήκες απουσίας O<sub>2</sub> αλλά πολύ περιορισμένη υπό συνθήκες περίσσειας O<sub>2</sub> (δηλαδή SCR).

Η χρήση του H<sub>2</sub> ως αναγωγικού παράγοντα του NO<sub>x</sub> υπό συνθήκες περίσσειας O<sub>2</sub> (H<sub>2</sub>-SCR) έχει μελετηθεί διεξοδικά παρέχοντας ενθαρρυντικά αποτελέσματα [12-14].

 Από την άλλη πλευρά, η χρήση υδρογονανθράκων ως αναγωγικών παραγόντων για SCR των NOx (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-SCR) σε περίσσεια O<sub>2</sub> έχει διερευνηθεί από τις πρωτοποριακές αναφορές των Sato et al. [15].

- Γενικά, οι υδρογονάνθρακες C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> και CH<sub>4</sub> θεωρούνται οι πιο συνηθισμένοι αναγωγικοί παράγοντες στην αντίδραση C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-SCR σε συνθήκες *lean burn* [16,17]. Ωστόσο, η εφαρμογή τους, συνδέεται με κακή δραστικότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες. Από αυτή την άποψη, υδρογονάνθρακες που περιέχουν O<sub>2</sub> (δηλ., C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>O<sub>z</sub>) μπορούν να επιλεγούν ως αναγωγικοί παράγοντες για την αντιμετώπιση αυτής της αναποτελεσματικότητας σε χαμηλή θερμοκρασία.
Ακολουθεί συνοπτικός πίνακας (Πίνακας 1) που παρουσιάζει <u>επιλεγμένες εργασίες</u> σχετικά με την καταλυόμενη από περοβσκίτες αναγωγή του NO<sub>x</sub> χρησιμοποιώντας C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>/C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>O<sub>z</sub>, H<sub>2</sub> ή CO ως αναγωγικό μέσα.

εμποδίζοντας τη συσσωμάτωση των νανοσωματιδίων (a): Abo & συνεπώς βελτιστοποιώντας την μακροχρόνια χρήση  $\sum_{\chi \eta \mu \alpha} 1$ του καταλύτη.

ή οξειδωτικές συνθήκες,

## Σκοπός Εργασίας

αναγωγικές

υπό

**Σχήμα 1.** Η ιδανική δομή περοβσκιτών (α)ABO<sub>3</sub> και (β) A<sub>2</sub>BO<sub>4</sub>.Οι κόκκινοι κύκλοι αντιπροσωπεύουν την αντικατάσταση του κατιόντος της Α-θέσης από ένα άλλο, Α΄. Τα μπλε τετράγωνα αντιστοιχούν στα κενά οξυγόνου [4]

Η παρούσα εργασία, αποτελεί μια βιβλιογραφική ανασκόπηση που αφορά την εφαρμογή των  $C_xH_y/C_xH_yO_z$ , του  $H_2$ , και του CO ως αναγωγικά μέσα στην SCR των NO<sub>x</sub> σε περοβσκιτικά υλικά, δίνοντας **ιδιαίτερη έμφαση στο ρόλο της φύσης του αναγωγικού παράγοντα και της σύνθεσης των περοβσκιτών**. Επιπλέον, γίνεται προσπάθεια για περαιτέρω **συσχέτιση μεταξύ των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των περοβσκιτικών υλικών και της δραστικότητας τους σε αντιδράσεις** *deNO<sub>x</sub>*, και παρουσιάζονται προτεινόμενα μηχανιστικά μοντέλα του ρόλου των ενεργών θέσεων του περοβσκίτη στην *deNO<sub>x</sub>* απόδοσή του τα οποία δυνητικά ανοίγουν το δρόμο για περαιτέρω βελτίωση της αποτελεσματικότητάς τους σε τέτοιου είδους καταλυτικές αντιδράσεις.



Πίνακας 1 Αντιπροσωπευτικές εργασίες σχετικά με την αντίδραση SCR-NOx σε περοβσκιτικά υλικά

Καταλύτες	NO (%)	Αναγωγικός Παράγοντας (%)	Πειραματικές Συνθήκες	Αποτελέσματα	Παραπομπή
LaFe <sub>0.8</sub> Cu <sub>0.2</sub> O <sub>3</sub> -RG LaFe <sub>0.8</sub> Cu <sub>0.2</sub> O <sub>3</sub> -CA LaFeO <sub>3</sub> -CA	0.1	0.3% CH <sub>3</sub> OH	8% O <sub>2</sub> , WGHSV: 30,000 mL/g∙h	$X_{NO} (\%) > 80-90,$ T (°C)> 430-575, $S_{N2} (\%)$ n/a	[18] Σχήμα 3
La <sub>0.8</sub> Sr <sub>0.2</sub> MnO <sub>3</sub> /-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> La <sub>0.8</sub> Sr <sub>0.2</sub> MnO <sub>3</sub> /-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1	0.12% <b>CH</b> <sub>4</sub>	0, 5% O <sub>2</sub> , 1636 h <sup>-1</sup> (GHSV)	$X_{NO} (\%) > 90-96,$ T (°C)> 800-875, $S_{N2} (\%)$ n/a	[19]
La <sub>0.8</sub> Sr <sub>0.2</sub> MnO <sub>3</sub>	0.4	0.24% C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	9% O <sub>2</sub> , 1.5% H <sub>2</sub> O, WGHSV:36,000 mL/g∙h	X <sub>NO</sub> (%) = 20-65, T (°C) = 200-275, S <sub>N2</sub> (%) =13 (μεγ. στους 210°C)	[20]
LaFe <sub>0.65</sub> Co <sub>0.3</sub> Pd <sub>0.05</sub> O <sub>3</sub> LaFe <sub>0.475</sub> Co <sub>0.475</sub> Pd <sub>0.05</sub> O <sub>3</sub>	0.072	1% <b>H<sub>2</sub></b>	5% O <sub>2</sub> , (7.2% H <sub>2</sub> O+7.2% CO <sub>2</sub> ) WGHSV:55,400 mL/g·h	X <sub>NO</sub> (%) >50, T (°C) = 175-300, S <sub>N2</sub> (%) =75 & 76 (στους 200°C & 250°C)	[21]
La <sub>0.8</sub> Sr <sub>0.2</sub> Fe <sub>0.9</sub> Pd <sub>0.1</sub> O <sub>3</sub>	0.1	1% <b>H</b> <sub>2</sub>	5% O <sub>2</sub> , WGHSV:180,000 mL/g·h	$X_{NO} (\%) > 50 (\mu \epsilon \gamma. 96),$ T (°C) = 120-210, S <sub>N2</sub> (%) =67 (160°C)	[22] Σχήμα 4
0.3% Pt/La <sub>0.7</sub> Sr <sub>0.2</sub> Ce <sub>0.1</sub> FeO <sub>3</sub>	0.25	1% <b>H</b> <sub>2</sub>	5% O <sub>2</sub> , WGHSV:40,000 mL/g∙h	X <sub>NO</sub> (%) >50 (μεγ. 83), T (°C) = 125-225, S <sub>N2</sub> (%) =93 (170°C)	[23]
0.1% Pt/La <sub>0.5</sub> Ce <sub>0.5</sub> MnO <sub>3</sub>	0.25	1% <b>H</b> <sub>2</sub>	5% O <sub>2</sub> , 5% H <sub>2</sub> O WGHSV:40,000 mL/g∙h	X <sub>NO</sub> (%) >50 (μεγ. 88), T (°C) = 125-175, S <sub>N2</sub> (%) =78 (150°C)	[24]
LaNi <sub>0.5</sub> Cu <sub>0.5</sub> O <sub>3</sub>	5	10% <b>CO</b>	WGHSV:36,000 mL/g·h	$X_{NO} (\%) = 100,$ T (°C) = 375-500, S <sub>N2</sub> (%) =100 (450°C)	[25] Σχήμα 2
LaCu <sub>0.5</sub> Mn <sub>0.5</sub> O <sub>3</sub>	5	10% <b>CO</b>	WGHSV:60,000 mL/g·h	$X_{NO} (\%) = 100,$ T (°C) = 300-600, $S_{N2} (\%) = 100$	[26]
La <sub>0.6</sub> Ce <sub>0.4</sub> FeO <sub>3</sub>	0.04	0.05% <b>CO</b>	0 & 3% O <sub>2</sub> , 0 & 0.01% SO <sub>2</sub> , 0 & 3% H <sub>2</sub> O WGHSV:24,000 mL/g·h	$X_{NO}$ (%) >50, T (°C) = 350-500, $S_{N2}$ (%) =90 (στους 350°C, απουσία O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>,</sub> SO <sub>2</sub> )	[27]
<ul> <li>Biβλιογραφία</li> <li>1.Yentekakis, V. I.; Georgiadis, G.A.; Drosou, C.; Goula, M.A. Nanomaterials, 2022, 12,1042.</li> <li>2. Granger, P.; Parvulescu, V.I. Chem. Rev. 2011, 11</li> <li>3. Yentekakis, I.V.; Konsolakis, M. Three-way Perovskites and Related Mixed Oxides;Wiley-VCF &amp; Co. KGaA: Weinheim, Germany, 2016; pp. 559–5</li> <li>4. Zhu, J.; Li, H.; Zhong, L.; Xiao, P.; Xu, X.; Yan Li, J. ACS Catal. 2014, 4, 2917–2940.</li> <li>5. Sim, Y.; Kwon, D.; An, S.; Ha, J.M.; Oh, T.S.; Catal. 2020, 489, 110925.</li> <li>6. Yang, Eh.; Noh, Y.S.; Hong, G.H.; Moon, D 2018, 299, 242–250.</li> <li>7. Lima, S.M.; Assaf, J.M.; Peña, M.A.; Fierro, J.L.G Gen. 2006, 311, 94–104.</li> <li>8. Wang, M.; Zhao, T.; Dong, X.; Li, M.; Wang, H Environ. 2018, 224, 214–221.</li> <li>9. Peña, M.A.; Fierro, J.L.G. Chem. Rev. 2001, 101, 10. Shen, M.; Zhao, Z.; Chen, J.; Su, Y.; Wang, J.; W Earths 2013, 31, 119–123.</li> <li>11. Kousi, K.; Tang, C.; Metcalfe, I.S.; Neagu, D. 2006479.</li> </ul>	Charisiou, D.N. ; 11, 3155–3207. y Catalysis. In I, Vergal GmbH 586. ng, X.; Zhao, Z.; Jung, J.C., Mol. D.J Catal. Today G. Appl. Catal. A I. Appl. Catal. B 1981–2017. Vang, X J. Rare Small <b>2021</b> , 17,	<ul> <li>17. Li, X.; Chen, C.; Liu, Z. ACS Catal. 2013, 3, 10</li> <li>18. Wang, H.; Zhang, R.; Catal. 2019, 377, 480–493</li> <li>19. Teng, Z.; Zhang, H. Taiwan Inst. Chem. Eng. 2</li> <li>20. Giroir-Fendler, A.; Chin. J. Catal. 2014, 35, 1</li> <li>21. Mondragón Rodríguez Environ. 2010, 93, 304–31</li> <li>22. Furfori, S.; Russo, N. V. N. Chem. Eng. Sci. 201</li> <li>23. Costa, C.N.; Savva, P.S.; Polychronopoulou, K V.N.; Pomonis, P.J.; Efst 456–471.</li> <li>24. Costa, C.N.; Efstat Belessi, V.C. J. Catal. 200</li> <li>25. Yi, Y.; Liu, H.; Chu, H. C.; Fan, M.; Bin, L. Chem</li> <li>26. Wu, Y.; Liu, H.; Li, G.</li> </ul>	<ul> <li>C.; Xian, H.; Guo, L.; Lv, J.; Jiang, 71–1075.</li> <li>Li, P.; Royer, S.; Dacquin, J.P. J.</li> <li>; Huang, S.; Li, N.; Zhou, Q. J.</li> <li>2018, 87, 204–210.</li> <li>iil, S.; Baylet, A. Cuihua Xuebao 299–1304.</li> <li>z, G.C.; Saruhan, B. Appl. Catal. B</li> <li>3.</li> <li>; Fino, D.; Saracco, G.; Specchia, 0, 65, 120–127.</li> <li>P.G.; Andronikou, C.; Lambrou, C.; Lambrou, C.; Belessi, V.C.; Stathopoulos, athiou, A.M. J. Catal. 2002, 209, hiou, A.M.; Stathopoulos, V.N.; 1, 197, 350–364.</li> <li>3.; Qin, Z.; Dong, L.; He, H.; Tang, Eng. J. 2019, 369, 511–521.</li> <li>.; Jin, L.; Li, X.; Ou, X.; Dong, L.;</li> </ul>	-O-Lai -O-D-Lai -O-D-Lai -O-D-Lai -O-D-Lai -O-D-Lai -O-D-Lai -O-D-Lai -O-D-D-D-D-D-D-D-D-D-D-D-D-D-D-D-D-D-D-	FeO <sub>3</sub> <sub>0.8</sub> Sr <sub>0.2</sub> FeO <sub>3</sub> <sub>0.7</sub> Sr <sub>0.2</sub> Ce <sub>0.1</sub> FeO <sub>3</sub> <sub>0.8</sub> Sr <sub>0.2</sub> Fe <sub>0.9</sub> Pd <sub>0.1</sub> O <sub>3</sub> <sub>0.7</sub> Sr <sub>0.2</sub> Ce <sub>0.1</sub> FeO <sub>3</sub> /La <sub>0.8</sub> Sr <sub>0.2</sub> FeO <sub>3</sub> /La <sub>0.7</sub> Sr <sub>0.2</sub> Ce <sub>0.1</sub> FeO <sub>3</sub> n catalytic

27. Qin, Y.; Sun, L.; Zhang, D.; Huang, L. Catal. Commun.

**2016**, 79, 53–57.

13. Engelmann-Pirez, M.; Granger, P.; Leclercq, G. Catal. Today

14. Mondragón Rodríguez, G.C.; Saruhan, B. Appl. Catal. B

15. Sato, S.; Yu-u, Y.; Yahiro, H.; Mizuno, N.; Iwamoto, M. Appl.

16. Vasala, S.; Karppinen, M. Prog. Solid State Chem. 2015, 43, 1-

2005, 107, 315-322

Catal. **1991**, 70, 3–7.

nviron. 2010, 93, 304-313.



**Σχήμα 3** (α) Καταλυτική μετατροπή NO (CH<sub>3</sub>OH-SCR) συναρτήσει της θερμοκρασίας. Πειραματικές συνθήκες: 1000 ppm NO, 3000 ppm CH<sub>3</sub>OH και 8% O<sub>2</sub> (β) Η δραστικότητα του περοβσκίτη LaFe<sub>0.8</sub>Cu<sub>0.2</sub>O<sub>3</sub> συγκριτικά με τον καταλύτη Ag/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Υποδεικνύονται επίσης οι θέσεις για προσρόφηση/ενεργοποίηση μεθανόλης, O<sub>2</sub> και NO στον περοβσκίτη. [18]

# Ι. Συμπεράσματα

- Η εκλεκτική αναγωγή, SCR, των NO<sub>x</sub> σε περοβσκίτες (όσον αφορά την καταλυτική ενεργότητα και την εκλεκτικότητα σε N<sub>2</sub>) είναι συγκρίσιμη, αν όχι καλύτερη με εκείνη των καταλυτικών συστημάτων ευγενών μετάλλων (ειδικά σε χαμηλές θερμοκρασίες).
- Αξιοσημείωτη επίσης, είναι η σταθερότητα και η ανθεκτικότητά τους στο SO<sub>2.</sub>
- Η μερική αντικατάσταση της θέσης Α ή/και Β με άλλα κατάλληλα στοιχεία επιτρέπει την σημαντική βελτίωση και την ελεγχόμενη βελτιστοποίηση της απόδοσή τους σε αντιδράσεις SCR.
- Οι μέθοδοι σύνθεσης είναι σε θέση να σχηματίσουν περοβσκίτες με μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια, ένα ουσιώδες πλεονέκτημα καθώς αυξάνεται ο αριθμός των ενεργών κέντρων στα οποία εκτίθεται το μίγμα αντίδρασης. Τόσο τροποποιημένες κλασσικές μέθοδοι σύνθεσης όσο και πιο προηγμένες έχει καταγραφεί να αυξάνουν αυτές τις τιμές δύο ή ακόμα και τρεις φορές, με αποτέλεσμα ένα σημαντικό όφελος στην SCR των NO<sub>x</sub>. Οι εκτεταμένοι χαρακτηρισμοί των περοβσκιτών δίνουν την δυνατότητα βαθύτερης κατανόησης των μηχανισμών της αντίδρασης, τη φύση και τον ρόλο των ενεργών κέντρων οδηγώντας σε συσχετισμούς μορφολογίας-ενεργότητας. Οι σύγχρονες προσεγγίσεις στην κατάλυση, όπως η λεγόμενη διαδικασία «exsolution», προσφέρει νέες προοπτικές για την χρήση των περοβσκιτών στον τομέα της SCR των NOx, δίνοντας τη δυνατότητα σύνθεσης υλικών εξαιρετικής καταλυτικής δραστικότητας και θερμικής σταθερότητας. Οι περοβσκίτες ως υλικά παρουσιάζουν μοναδικές ιδιότητες χειρισμού και η προσαρμογή τους μέσω της σύνθεσής τους θα μπορούσε να βελτιστοποιήσει τη SCR των NOx. Είναι θερμικά σταθεροί, μάλλον ανεκτικοί στα δηλητήρια, όπως το SO<sub>2</sub>, και κυρίως φαίνεται να λειτουργούν επαρκώς με όλους τους πιθανούς αναγωγικούς παράγοντες που εξετάζονται εδώ. Παρόλο που ο πλήρης αποκλεισμός των πολύτιμων μετάλλων στις καταλυτικές διεργασίες φαίνεται μη ρεαλιστικός βραχυπρόθεσμα, η συνδυασμένη χρήση τους με περοβσκίτες μπορεί να προσφέρει σημαντικά τεχνολογικά πλεονεκτήματα. Με βάση τη σημαντική έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί στον τομέα αυτό, μπορεί να υποστηριχθεί ότι οι περοβσκίτες μπορούν να χρησιμεύσουν ως ενεργοί φορείς πολύτιμων μετάλλων, επιτρέποντας τόσο τη μείωση της φόρτισης σε ευγενή μέταλλα όσο και την παράταση της διάρκειας ζωής τους.

**Σχήμα 2** Ο μηχανισμός της καταλυτικής αναγωγής NO από CO σε περοβσκίτες LaNi<sub>0.5</sub>Cu<sub>0.5</sub>O<sub>3</sub> [25].

**Σχήμα 4.**  $H_2$ - SCR NO συναρτήσει της θερμοκρασίας. Πειραματικές συνθήκες: 1000 ppmv NO, 4000 ppmv  $H_2$ , 0%  $O_2$ , WGHSV = 180,000 mL/gh [22].

Temperature [°C]

Η εργασία υλοποιήθηκε στα πλαίσια της Δράσης Εθνικής Εμβέλειας «Διμερής & Πολυμερής Ε&Τ Συνεργασία Ελλάδας-Κίνας» και συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και από εθνικούς πόρους, ειδικότερα από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ), στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος ΕΠΑνΕΚ 2014-2020 (Κωδικός Έργου: Τ7ΔΚΙ-00356).

